

LOS LÍQUENES DE LOS ROQUEDALES DE TANDIL **Bioindicadores de la calidad del aire ¹**

Juan Manuel Lavernia

María Julia Kristensen

Vilma Rosato

RESUMEN

En las sierras que circundan Tandil, se seleccionaron sitios para establecer una red de monitoreo de la calidad del aire usando los líquenes saxícolas -que viven sobre rocas- como bioindicadores. Los objetivos específicos fueron: 1) caracterizar la biota liquénica e interpretar su distribución espacial a la luz de las variaciones ambientales naturales; 2) identificar los contaminantes atmosféricos industriales potencialmente emitidos y las zonas de influencia; y 3) reconocer líquenes aplicables al biomonitoreo. Para ello: 1) se realizaron muestreos fitosociológicos. 2) Se ubicaron los núcleos de emisión identificando los potenciales contaminantes emitidos por las industrias de Tandil aplicando factores de emisión de la EPA y bibliografía especializada. 3) Se estableció mediante bibliografía el potencial para el biomonitoreo de las especies. 4) Se definieron estaciones de monitoreo cruzando la información generada (riqueza, diversidad, ubicación de los núcleos de emisión, potencial de biomonitoreo de las especies); se aplicaron criterios de diseño de redes de monitoreo (altitud, distancias a las fuentes, vientos) y el Índice de Pureza Ambiental (IPA). Se identificaron 26 especies y 18 géneros, entre ellas, bioacumuladoras y bioindicadoras de metales pesados y de compuestos de N y S. El 36% de las industrias fueron potencialmente emisoras de contaminantes atmosféricos.

INTRODUCCIÓN

Las actividades humanas son generadoras de problemas ambientales cuya solución conlleva costos económicos. Tal el caso de los procesos de contaminación que alteran la calidad de los recursos (aire, suelo, agua) con efectos negativos sobre la salud humana y de los ecosistemas. Es menester desarrollar tecnologías y generar conocimientos a través de la investigación científica para revertir y prevenir tales problemáticas. En ese sentido, el uso de bioindicadores -organismos sensibles a cambios ambientales- posibilita realizar un seguimiento constante del estado de un recurso. La actividad industrial en Tandil, con la metalurgia como rubro tradicional, es fuente emisora de contaminantes y aunque hay un parque industrial planificado, los predios más antiguos se localizan en el área urbana.

Una característica sobresaliente de las sierras bonaerenses son sus afloramientos rocosos a menudo cubiertos por líquenes de diferentes colores y formas. Esto lleva a pensar en la posibilidad de utilizarlos como bioindicadores del estado del aire en Tandil. Una ventaja de los bioindicadores sobre los análisis químicos para medir el nivel de gases contaminantes, es que permanecen expuestos a las emanaciones de forma continua y son acumuladores de sustancias, lo que permite la evaluación integral y el monitoreo temporal de la

¹ Escrito a partir de la tesis de licenciatura “Las comunidades de líquenes de Tandil, Buenos Aires, como bioindicadoras de la calidad del aire” 2009; y de los trabajos “Importancia de la Biota Liquénica en las Comunidades Saxícolas de las Sierras de Tandil” 2006 y “Actividad industrial y variaciones en la riqueza y cobertura liquénica en Tandil” 2009.

contaminación. El objetivo general de este trabajo fue *definir una red de monitoreo de la calidad del aire de Tandil usando líquenes como bioindicadores*.

Para discriminar qué variaciones espaciales responden a cambios en el ambiente natural (sustrato, pendiente, orientación, altitud) y cuáles a los contaminantes, se plantearon los objetivos: 1) *caracterizar la biota líquénica en áreas aledañas a la ciudad e interpretar su distribución espacial a la luz de las variaciones ambientales naturales*. Para conocer qué compuestos gaseosos emiten las industrias de Tandil: 2) *identificar las potenciales emisiones industriales de contaminantes atmosféricos y su zona de influencia*; y 3) *reconocer líquenes aplicables al biomonitoreo de los contaminantes locales*.

DESARROLLO

Materiales y métodos

El área de estudio abarcó 180 km² e incluyó la planta urbana de Tandil y los sectores serranos (Sistema de Tandilia) aledaños. Se seleccionaron 11 sitios de muestreo en roquedales adecuados para ser estaciones de monitoreo: esto es, poseer al menos 1 ha (ubicados sobre aerofotografías), ser de fácil acceso, quedar resguardados del tránsito de personas y poseer libre circulación del aire (Winberry *et al.*, 1998). En ellos, se realizaron 229 censos fitosociológicos registrando los líquenes (cobertura por especie) en cuadrículas de 20x50 cm. Se estimaron la riqueza (*S*), la diversidad de Shannon-Wiener (*H'*) y la equitatividad (*J*). Se registraron: posición topográfica, pendiente, exposición, sustrato y uso del suelo (minería, cultivo o pastoreo). La naturalidad se estimó por los signos de alteración antrópica (especies exóticas, residuos, construcciones, caminos e incendios). El análisis de las especie ponderadas por su abundancia relativa permitió diferenciar abundantes de dominantes (*sensu* Hill) para cada variable ambiental (Magurran, 1988). Se mapearon las potenciales emisiones de las industrias de segunda y tercera categoría (Ley 11459/82) radicadas en el Municipio. Los compuestos liberados, según el tipo de proceso productivo y la capacidad de la empresa, se determinaron por factores de emisión (EPA, 1995) y el área de influencia se reconoció a través del índice de pureza ambiental (IPA) según la versión de De Sloover y Le Blanc (1970). Se estableció bibliográficamente el potencial indicador (sensible o acumulador) de los líquenes colectados. Para diseñar la red de biomonitoreo se consideró la ubicación de los sitios -potenciales estaciones de monitoreo- respecto a los núcleos de emisión, el grado de naturalidad y la presencia de actividades agropecuarias o mineras (Markert, 1995). Se analizaron la velocidad y frecuencia media del viento por cuadrante para 3 períodos de registros (SMN, 1963, 1981, 1992). Se creó una ecuación para estimar el grado de protección a la exposición (Gpe) de cada sitio según criterios surgidos de experiencias previas de monitoreo (Escalona *et al.*, 2000; Winberry *et al.*, 1998). El Gpe se calculó con el promedio de las distancias a los 3 núcleos de emisión más próximos al sitio cuya altitud fuera inferior al mismo.

Resultados

Comunidades líquénicas

Los roquedales albergaron 26 especies de líquenes pertenecientes a 11 familias y a 18 géneros. Todas las especies ya habían sido citadas para la región, aunque 6 no pudieron identificarse y sólo se determinó su género; 3 se señalaron como afines a otra especie. Diez

especies fueron crustosas (fuertemente adheridas a la roca), 9 foliosas (con lóbulos dispuestos en roseta) y 7 fruticulosas (de mayor desarrollo y ramificadas). El 35% de las especies apareció en todos los sitios; el 20% en el 90% de ellos y el 15% faltó sólo en el 20-30%. Del análisis conjunto de las especies, surgió que el 90% de las 12 comunes a todos los sitios fueron crustosas y sólo 2 fueron foliosas. De las 5 raras, 3 fueron fruticulosas y 2 foliosas. Una sola fruticulosa, *U. hieronymii*, estuvo en todos los sectores. Las especies abundantes pero no presentes en todos los sitios, fueron en su mayoría foliosas (6), y sólo 1 fruticulosa (*C. pyxidata*). La biota líquénica mostró un alto número de especies dominantes y abundantes (Hill); aunque el 35% no varió en respuesta al ambiente, hubo una tendencia entre las menos abundantes a preferir laderas pronunciadas al E y S sobre sustratos escalonados (Cuadro 1). Los sitios se diferenciaron entre sí en la riqueza de especies (máxima -26- en La Cascada y mínima -14- en el Calvario), con una reducción del 40% (Cuadro 2). Los índices de diversidad variaron entre 2,4 y 3,2, con alta equitatividad ($> 0,88$), lo que indica cobertura similar de las especies (Cuadro 2). El análisis espacial mostró más riqueza y diversidad en los sitios alejados de la ciudad.

Cuadro 1. Abundancia de especies (*sensu* Hill) en función de variables ambientales abióticas: dominantes (2), abundantes (1), presentes (+) y ausentes (-). Tb: base, Tl: ladera, Tc: cima, Ps: suave, Pm: media, Pr: recta, Sl: liso y Se: escalonado.

Especies	Posición Topográfica			Pendiente			Exposición				Sustrato	
	Tb	Tl	Tc	Ps	Pm	Pr	W	S	E	N	Sl	Se
<i>Xanthoparmelia hypopsila</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Buellia</i> sp1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Ochrolechia tartarea</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Buellia</i> sp3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Acarospora</i> aff. <i>lorentzii</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Buellia</i> sp2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
<i>Canomaculina ventanica</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
<i>Caloplaca cinnabarina</i>	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
<i>Usnea hieronymii</i>	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2
<i>Xanthoparmelia conspersa</i>	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	+
<i>Paraparmelia rupicola</i>	2	2	2	2	2	1	2	2	+	2	2	2
<i>Canoparmelia austroamericana</i>	2	2	2	+	+	2	2	2	2	+	2	1
<i>Buellia</i> sp4	1	1	2	1	1	2	2	2	1	+	1	2
<i>Punctelia semansiana</i>	+	2	2	1	2	2	+	2	2	1	2	2
<i>Candelaria concolor</i>	2	+	1	2	2	+	+	+	2	2	1	1
<i>Punctelia colombiana</i>	+	1	+	+	2	+	1	+	2	+	+	2
<i>Cladia aggregata</i>	+	+	1	1	+	+	+	+	2	+	-	2
<i>Pertusaria</i> aff. <i>patagonica</i>	+	+	1	+	1	1	+	2	+	+	+	-
<i>Cladonia pyxidata</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	2
<i>Usnea</i> aff. <i>exigua</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
<i>Acarospora</i> sp	+	2	+	-	+	2	1	+	1	1	+	+
<i>Umbilicaria krempelhuberi</i>	1	1	+	-	-	2	+	-	+	2	+	-
<i>Phiscia cinerea</i>	+	+	+	+	1	+	-	1	+	+	+	2
<i>Cladonia</i> sp.	+	+	-	+	+	-	+	+	+	+	-	2
<i>Parmotrema eciliatum</i>	-	2	-	-	-	1	-	1	+	-	+	-
<i>Ramalina</i> aff. <i>intermedia</i>	+	-	-	-	+	+	-	+	+	+	+	-

Cuadro 2. Índices biocenóticos para cada sitio:

Diversidad (H'), equitatividad (J'), riqueza (S) de líquenes y distancia a la ciudad de los sitios de muestreo

Sitios	H'	J'	S	Distancia al área urbana (km)
La Cascada (T1)	3,02	0,93	26	2,3
Co. Chico (P2)	2,97	0,93	24	2,1
Sierra del Tigre (T2)	2,84	0,89	24	2,3
Co. Montecristo (P5)	2,71	0,92	19	2,6
Co. Federación (P4)	2,68	0,95	17	3,8
Co. Chato (P1)	2,67	0,91	19	2,3
Cerrito (U2)	2,55	0,90	17	0
Parque Independencia (U4)	2,55	0,88	18	0
Co. Centinela (P3)	2,51	0,93	15	1,6
Co. La Movediza (U1)	2,50	0,92	15	0
Co. Calvario (U3)	2,43	0,92	14	0

Industrias

Según los parámetros de la EPA (1995), 61 de las 172 industrias de Tandil (35%) emitirían contaminantes atmosféricos. Éstas se agruparon en 7 rubros, con 52 establecimientos de segunda y 9 de tercera categoría (Cuadro 3). Entre los 61 establecimientos analizados, todos emiten algún **contaminantes básico**, siendo los principales: CO (65,9% de los establecimientos), vapores (40,7%), fluoruros (27,5%), SO_x (24,2%) y NO_x (20,9%). Por otro lado el 31% (13 industrias de segunda y 6 de tercera) emitiría **elementos no metálicos** como Cl (el 14,3% de ellas), Si (8,8%) y en menor cuantía P (5,5%) y As (2,2%). El 85% (52 industrias de segunda y 6 de tercera categoría) serían potenciales emisoras de **metales pesados**, principalmente Fe (36,3%), Al (23,1%) y Zn (17,6) y en menor medida Cd, Pb, Cu, Co, Hg, Mn y Cr (16,5%).

Potencial de biomonitorio

En función de los estudios de monitoreo previos, que focalizaron principalmente en el análisis de contaminantes industriales, nuestras especies pertenecen a géneros que, en conjunto, permitirían evaluar la totalidad de los contaminantes emitidos por las industrias de Tandil. Los líquenes fueron utilizados en orden decreciente, para monitorear contaminantes básicos de SO_x y metales pesados, mayormente Zn, Cd, Pb, Cr. Los géneros **bioacumuladores** fueron *Xanthoparmelia*, *Punctelia*, *Parmotrema*, *Phiscia*, *Usnea*, *Cladia*, *Cladonia*, *Ramalina*, *Umbilicaria*, *Ochrolechia* y *Candelaria*, a los que pertenecen el 57% de las especies. Cinco especies presentes en Tandil fueron utilizadas como bioacumuladoras: *X. conspersa* permite medir concentraciones de Pb, Mn, Cu, Zn, Mg y Ca; *P. cinerea* compuestos con N; *C. aggregata* concentraciones de tritio y SO₂; *C. pyxidata* presencia de Pb, Cr, Cd, Co, Ni, Mn, Fe, Zn y Cu y *C. concolor* bioacumulación de SO₂ y N (Lawrey y Hale, 1981; Ichimasa *et al.*, 1999; Jovan, 2002; Batts *et al.*, 2003; USFS, 2008). En los estudios que aplicaron **escalas de sensibilidad**, se usaron todos los géneros bioacumuladores (excepto *Cladia*) más *Pertusaria*, *Caloplaca* y *Buellia*. A ellos pertenecen el 69% de los líquenes locales; a nivel especie *C. pyxidata* es tolerante al SO₂ y *C. concolor* sensible a varios compuestos (Wetmore, 1987; Ryan, 1990; USFS, 2008).

Cuadro 3. Industrias de 2ª y 3ª categoría -por rubro- que emiten contaminantes al aire.
Totales en términos absolutos y relativos (n = 91)

Tipo de emisión		Rubro Industrial																	Total		%
		1		2		3		4		5		6		7							
		2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª	2ª	3ª		
Contaminantes básicos	Mon. de Carbono (CO)	8	1	18	-	4	4	6	-	11	1	-	1	5	2	52	8	65,93			
	Óx. de Nitrógeno (NO _x)	-	-	-	-	4	3	-	-	4	1	-	1	5	1	13	6	20,88			
	Óxidos de Azufre (SO _x)	-	-	-	-	-	2	6	-	11	1	-	1	5	2	16	6	24,18			
	Fluoruros	8	1	-	-	4	3	-	-	8	1	-	-	-	-	20	5	27,47			
	Material particulado	-	-	5	-	-	-	6	-	-	-	-	1	2	2	13	3	17,58			
	Vapores	-	-	18	-	-	3	-	-	7	1	-	1	5	2	30	7	40,66			
Elementos no metálicos	Fósforo (P)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	3	2	5,49			
	Arsénico (As)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	1	1	2,20			
	Sílice (Si)	-	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	1	1	1	7	1	8,79			
	Cloro (Cl)	-	-	-	-	4	3	-	-	-	-	-	1	3	2	7	6	14,29			
Metales pesados	Zinc (Zn)	-	-	-	-	-	1	-	-	11	1	-	-	2	1	12	4	17,58			
	Cadmio (Cd)	-	-	-	-	-	-	-	-	11	1	-	-	2	1	12	3	16,48			
	Plomo (Pb)	-	-	-	-	-	-	-	-	11	1	-	-	2	1	12	3	16,48			
	Cobre (Cu)	-	-	-	-	-	-	-	-	11	1	-	-	2	1	12	3	16,48			
	Cobalto (Co)	-	-	-	-	-	-	-	-	11	1	-	-	2	1	12	3	16,48			
	Mercurio (Hg)	-	-	-	-	-	-	-	-	11	1	-	-	2	1	12	3	16,48			
	Aluminio (Al)	-	-	-	-	-	-	6	-	11	1	-	-	2	1	18	3	23,08			
	Hierro (Fe)	8	1	-	-	4	3	-	-	11	1	-	-	2	1	26	7	36,26			
	Manganeso (Mn)	-	-	-	-	-	-	-	-	11	1	-	-	2	1	12	3	16,48			
	Cromo (Cr)	-	-	-	-	-	-	-	-	11	1	-	-	2	1	12	3	16,48			

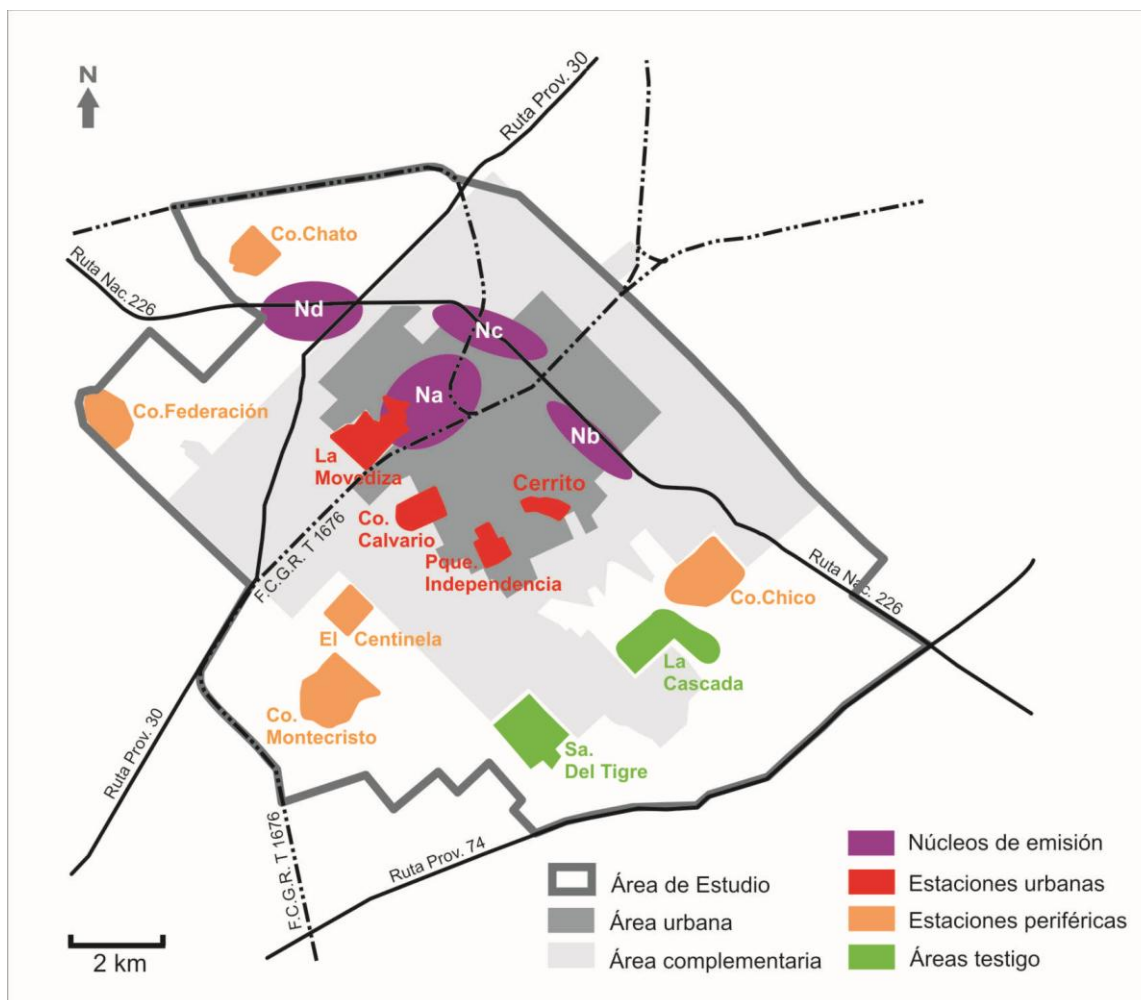
Rubros: construcción de mat. de transportes (1); fabricación de productos: alimenticios excepto bebidas (2), metálicos, maquinaria y equipo (3), minerales no metálicos exceptuando derivados del petróleo y del carbón (4); industrias metálicas básicas (5), textiles, prendas de vestir e ind. del cuero (6); fabricación o fraccionamiento de sustancias químicas y de productos químicos, derivados del petróleo y del carbón, de caucho y plásticos (7).

Definición de la red de monitoreo y aplicación del IPA

El análisis de los vientos mostró variaciones en la procedencia y en las intensidades en cada período estudiado (1951-1960; 1971-1980; 1981-1990). Por este motivo, siguiendo igual criterio que Ulberich (2004) se desestimó el análisis de dispersión de contaminantes en función de los vientos predominantes.

De acuerdo a los usos del suelo donde se emplazan, se clasificaron las estaciones en urbanas, periféricas y testigo. Dado que los contaminantes emitidos disminuyen su concentración en la atmósfera a medida que se alejan de la fuente de emisión, la distancia a la misma puede ser considerada como un factor de protección a la exposición (Gpe) a los contaminantes. Así, las estaciones urbanas están más expuestas a las fuentes de emisión, las periféricas se ubican en áreas agropecuarias o mineras y las testigo -no urbanas, alejadas de las fuentes de emisión, sin canteras próximas ni uso agropecuario, y naturalidad de media a alta- poseen el mínimo nivel de exposición y mayor Gpe (Figura 1, Cuadro 4).

Figura 1. Área de estudio. Estaciones de monitoreo y núcleos de emisión:
(Na: Villa Italia; Nb: Tandil este; Nc: Tandil norte; Nd: Parque industrial)



Cuadro 4. Valor del IPA y parámetros biocenóticos de las comunidades líquénicas en las estaciones (sitios de muestreo). Ver referencias en Cuadro 2.

Variables	Estaciones Urbanas				Estaciones periféricas					Testigo	
	U1	U2	U3	U4	P1	P2	P3	P4	P5	T1	T2
Riqueza (S)	15	17	14	18	19	24	15	17	19	26	24
Cobert. Media	63	69	53	55	63	63	54	73	69	76	77
Gpe	1,73	2,35	2,79	3,09	3,13	4,79	5,13	5,51	6,13	6,17	6,76
Naturalidad	med	baja	baja	baja	med	med	baja	alta	med	alta	med
Minería						x		x	x		
Agricultura					x		x				
IPA	48,7	56,7	32,7	47,6	57,6	80,9	37,5	62,2	64,2	103	92,5

El cálculo del IPA concordó con esta clasificación y mostró que la zona de Co. Calvario sería la de menor pureza del aire en Tandil, seguida por el Pque. Independencia y el Co. La Movidiza. El Cerrito sería el sitio urbano de mayor pureza del aire, aún más que en El Centinela, ubicado sobre suelo no urbano y a mayor distancia de los núcleos de emisión.

Este bajo valor para El Centinela podría deberse a su baja naturalidad o por el impacto de las actividades agrícolas que se desarrollan en torno a él.

Las restantes estaciones presentaron valores más altos de IPA que las urbanas; este fue máximo en Co. Chico, con una elevada riqueza en especies posiblemente relacionada con la ausencia de actividades agrícolas próximas. Los sitios periféricos Co. Federación y Co. Montecristo presentaron los IPA más altos del grupo, lo que concuerda con su alto Gpe. Los sitios testigo, La Cascada y Sierra del Tigre, tuvieron un similar Gpe. a los anteriores pero un IPA mayor, lo que podría deberse a su mayor diversidad, naturalidad y a la ausencia de material particulado generado por la minería.

CONCLUSIONES

Sobre roquedales del ambiente serrano de Tandil crece una biota líquénica que cuenta con al menos 26 especies y 20 géneros. No se diferenciaron *a priori* asociaciones florísticas diferentes, y el 35% de las especies fueron indiferentes a la posición topográfica, la pendiente, la exposición y el sustrato. Entre las especies menos abundantes se observó una tendencia general a preferir mayor pendiente, sustratos escalonados, laderas y exposiciones S y E. En orden decreciente de número de especies se registraron biotipos crustosos, foliosos y fruticulosos, siendo más abundantes los primeros. Los sitios poseyeron alta diversidad (H') interna aunque pudieron diferenciarse sitios por su riqueza (S).

El 36% de las industrias fueron potencialmente emisoras de contaminantes atmosféricos. Entre las de segunda y tercera categoría, todas emitieron contaminantes básicos, principalmente de CO, vapores, fluoruros, SO_x y NO_x y la mayoría (85%) metales pesados, mayormente Fe, Al y Zn. El 31% liberaron 10 elementos no metálicos, entre los cuales predominaron Cl, Si y P. Se determinaron 4 núcleos de emisión industriales, 3 urbanos que incluyen el de mayor magnitud y uno en el parque industrial.

El 57% de los géneros a los que pertenecen la mayoría de las especies presentes han sido usados como bioindicadores en estudios previos. Se constató que 5 especies de los roquedales de Tandil han sido efectivamente utilizadas como bioacumuladoras y dos de ellas (*X. conspersa* y *C. concolor*) estuvieron en todos los sitios de muestreo. Con ellas se podrían biomonitorizar óxidos de S y N y los metales pesados (excepto Al y Hg) emitidos en Tandil. Se debería constatar la aplicabilidad del resto de las especies nativas para monitorear otros compuestos emitidos principalmente Cl, P, Al y Hg.

Se definieron estaciones de biomonitoreo urbanas, periféricas y testigo, en las que se estimó la calidad del aire. Los valores del IPA reflejaron la cercanía, con menor pureza, de los sitios de muestreo a las fuentes de emisión de contaminantes.

En función de la integración de los elementos analizados se propone una red de monitoreo en la cual se optimicen los costos y obtención de resultados utilizando: 1) todas las estaciones para aplicar periódicamente el IPA -de bajo costo- y evaluar la variación espacial y temporal de la calidad del aire; 2) sólo las estaciones urbanas -más expuestas- para evaluar mediante análisis químicos -de mayor costo- la bioacumulación de contaminantes industriales; y 3) las estaciones periféricas -con menor influencia industrial- para profundizar en el estudio del efecto de las actividades minera y agrícola-ganadera.

BIBLIOGRAFÍA

- Batts, J., L. Calder y B. Batts. 2004. "Utilizing stable isotope abundances of lichens to monitor environmental change". *Chemical Geology* 2004 3-4, p. 345-368.
- De Sloover, J. y F. Le Blanc, (1970). "Pollutions atmosphériques et fertilitéchez les mousses et les lichens tpihytiques". *Bull. Ac. Soc. Lorraines des Sciences*, 9 (1): 82-90.
- EPA. 1995. "Stationary point and area sources". In *Compilation of Air Pollutant Emission Factors*, Vol. I. US EPA. Research Triangle Park, North Carolina.
- Escalona, L. M., J. V. Guerrero y J. M. Acosta. 2000. "Red de Monitoreo Atmosférico en Valencia, Venezuela". *ABES*, p. 1-7. Río de Janeiro
- Ichimasa, M., M. Suzuki, H. Obayashi, Y. Sakuma y Y. Ichimasa. 1999. "In vitro determination of oxidation of atmospheric tritium gas in vegetation and soil in Ibaraki and Gifu, Japan". *J. Radiat. Res.* 40, p. 243-251.
- Jovan, S. 2002. "Air quality in california forests: current efforts to initiate biomonitoring with lichens". *Bulletin of the California Lichen Society* 9 (2), p. 25-29.
- Lavornia, J., M.J. Kristensen y V. Rosato, 2006. "Importancia de la biota liquénica en las comunidades saxícolas de las Sierras de Tandil (Buenos Aires)". IX Jornadas Pampeanas de Ciencias Naturales, Santa Rosa.
- Lavornia, J. 2009. Las comunidades de líquenes de Tandil, Bs As., como bioindicadoras de la calidad del aire. Tesis de grado, LDGyA, FCH, UNICEN.
- Lavornia, J. y M.J. Kristensen, 2009. "Actividad industrial y variaciones en la riqueza y cobertura liquénica en Tandil, Pcia. de Bs. As". II Jorn de Ecología de Paisajes, Córdoba.
- Lawrey, J. y M. Hale Jr. 1981. "Retrospective study of lichen lead accumulation in the Northeastern United States". *The Bryologist* 84 (4), p. 449-456.
- Magurran, A. 1989. "*Diversidad ecológica y su medición*". Edic. Vedar. Barcelona.
- Markert, B. 1995. "*quality assurance in enviromental monitoring. Sampling and sample pretreatment*". VCH-Publisher, Nueva York.
- Ryan, B. 1990. "*Lichens and air quality in the Agua Tibia Wilderness, California: A baseline study*". Department of Botany. Arizona State University.
- SMN. 1963 / 1981 / 1992. "*Estadística Climatológica 1951-1960*" / "*Estadística Climatológica 1961-1970*" / "*Estadística Climatológica 1981-1990*". Servicio Meteorológico Nacional, Secretaría de Aeronáutica, Public. B, N°s 6 / 35 / 37. Bs. As.
- Ulberich, A. 2004. "Radicación industrial y complejidad ambiental en la ciudad de Tandil". *Rev. Cartográfica Inst. Panam. Geogr. e Historia (IPGH)* 76-77, México. 14 p.
- USFS. 2008. "*Pacific northwest lichen sensitivity ratings by species*". United States Forest Service. National Lichens & Air Quality Database.
- Wetmore, C. 1987. "*Lichens and air quality in Boundary Waters Canoe Area of Superior National Forest. Final report*". Botany Department University of Minnesota.
- Winberry, J., L. Henning y R. Crume. 1998. "*plan de red de monitores del aire ambiental para Ciudad Acuña y Piedras Negras, Coahuila, México*". Ctro. de Inf. sobre Contaminación del Aire para la Frontera EEUU-México. EPA-456/R-98-002